Résultats préliminaires des essais de croissance au champ d'aulnes (*Alnus* spp.) inoculés ou non de *Frankia*

D. Burgess, L. Chatarpaul et O. Hendrickson

Rapport d'information PI-X-67F
Institut forestier national de Petawawa

87-05652/

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements du Service canadien des forêts, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessistent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales du Service canadien des forêts. La plupart du temps, ses recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux ou des services forestiers des provinces. Les projets de recherche et les services techniques de l'institut sont regroupés sous six principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE - Ce programme encadre des projets sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Ce centre existe depuis longtemps et est lié à plusieurs organismes internationaux.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER - Ce programme intègre en recherche et développement, des projets sur les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance et la récolte, et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LA RESSOURCE FORESTIÈRE - Communément appelé FORSTATS, ce programme assure la coordination de l'acquisition, de la normalisation et de la publication de statistiques nationales sur les forêts du Canada. Il est aussi chargé de répondre aux demandes de renseignements de la clientèle.

SYSTÈMES DE DONNÉES FORESTIÈRES - Ce programme fournit la compétence et les systèmes informatisés nécessaires à la gestion des données acquises dans le cadre de FORSTATS et des projets de recherche à l'IFNP. Il comprend en outre un service de consultation en informatique pour les hauts fonctionnaires du SCF.

COMMUNICATIONS - Ce programme regroupe les activités de la bibliothèque et des projets touchant la sensibilisation du public, l'information, la rédaction-révision et les publications. L'institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt national de toutes les publications scientifiques du SCF.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE - Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre de projets de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 98 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Ces plantations expérimentales permettent d'obtenir des données sur la croissance et la récolte à la suite d'expériences de culture. Elles fournissent du matériel génétique dont le lignage est répertorié, et se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. La forêt permet également de mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long terme.

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DES ESSAIS DE CROISSANCE AU CHAMP D'AULNES (*ALNUS* SPP.) INOCULÉS OU NON DE *FRANKIA*

Rapport d'information PI-X-67F

D. Burgess, L. Chatarpaul et O. Hendrickson

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Chalk River, Ontario

1987

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1986
N° de catalogue Fo46-11/67-1987F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-94306-6

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

N° de téléphone: 613-589-2880

This publication is also available in English under the title Field performance of FRANKIA-inoculated and non-inoculated alders (Alnus spp.): Preliminary results.

Table des matières

v Résumé/Abstract

1 Introduction

2 Matériel forestier de reproduction et méthodes d'essai

2 Description de la station
2 Matériel forestier de reproduction
4 Plan et analyse des essais

5 Résultats

8 Discussion

8 Taux de croissance des essences d'aulnes indigènes et exotiques
10 Effets de l'inoculation de Frankia

11 Remerciements

11 Références

Tableaux

3 1. Sources des semences des espèces d'Alnus utilisées lors des essais de plantation
6 2. Croissance en hauteur et accroissement du diamètre à hauteur de poitrine (dhp) d'Alnus à la station d'étude sur le terrain
8 3. Effets de l'inoculation sur le taux de croissance d'Alnus en pépinière
9 4. Effets de l'inoculation de la souche Frankia ACN1^{AG} sur le taux de croissance au champ de trois espèces d'Alnus

Figure

7 1. Parcelle expérimentale d'Alnus japonica de cinq ans (photo prise en août 1985 - les arbres avaient été élagués pour mettre en évidence la forme de la tige). x 1/40

RÉSUMÉ

L'étude décrit l'essai sur le terrain d'aulnes indigènes et exotiques établis afin d'évaluer les possibilités forestières d'aulnes exotiques arborescents dans le centre du Canada. Elle englobe aussi les effets de l'inoculation de Frankia sur l'accroissement et la survie des aulnes. Après germination en serre, les semis ont été repiqués en pépinière sur des planches, puis transplantés en place le printemps suivant. La survie et l'accroissement ont été évalués à chaque année et ont révélé des écarts notables entre les espèces et les sous-espèces. Ainsi, les aulnes exotiques Alnus glutinosa (L.) Gaertn., A. incana ssp. incana (L.) Moench et A. japonica (Thunb.) Steud. ont crû plus vite que les sous-espèces indigènes A. incana ssp. rugosa (Du Roi) Clausen. et A. viridis ssp. crispa (Ait.) Turrill. D'autres sous-espèces étudiées comprenaient A. cremastogyne Burk., A. rubra Bong., A. viridis spp. sinuata (Reg.) Löve & Löve et A. incana ssp. tenuifolia (Nutt.) Breitung. La survie de toutes les sous-espèces sauf A. cremastogyne, tuée par le gel, était élevée. La hauteur moyenne des sujets de quatre ans variait de 0,97 m (A. viridis ssp. sinuata) à 4,7 m (A. japonica). Chez les quatre sous-espèces au diamètre (dhp) le plus large, ce dernier variait de 1,67 cm (A. incana ssp. rugosa) à 3,3 cm (A. incana ssp. incana et A. japonica). Dans la comparaison des effets de l'inoculation, les semis ont été soit traités avec la souche ACN1^{AG}, soit soumis à un amendement azoté à libération graduelle (sans inoculation). Ces deux régimes ont eu des effets variables sur l'accroissement dans les planches de pépinière la première année, mais chez les sujets inoculés, l'accroissement en hauteur après la transplantation était notablement supérieur.

ABSTRACT

This study describes field trials with native and exotic alders established to assess the potential of tree-sized exotic alders for use in forestry in central Canada. A study of Frankia inoculation effects on growth and survival is also included. Seedlings were started in the greenhouse, transplanted into nursery seedbeds, and field outplanted the following spring. Survival and growth were assessed annually and showed significant differences between species. In these studies, the exotic alders Alnus glutinosa (L.) Gaertn., A. incana ssp. incana (L.) Moench, and A. japonica (Thunb.) Steud. outgrew the local native species A. incana ssp. rugosa (Du Roi) Clausen. and A. viridis ssp. crispa (Ait.) Turrill. Other species evaluated included A. cremastogyne Burk., A. rubra Bong., A. viridis ssp. sinuata (Reg.) Löve & Löve, and A. incana ssp. tenuifolia (Nutt.) Breitung. Survival was high for all species except A. cremastogyne which was killed by frost. Average heights of 4-year-old trees ranged from a low of 0.97 m for A. viridis ssp. sinuata to 4.7 m for A. japonica. Diameter (dbh) ranged for the four largest species from 1.67 cm for A. incana ssp. rugosa up to 3.3 cm for A. incana ssp. incana and A. japonica. In the inoculation study, seedlings either were treated with Frankia strain ACN1^{AG}, or received a slow-release N fertilizer (without inoculum). These two production systems had variable effects on first-year growth in nursery seedbeds, but inoculated plants showed significantly greater height growth at the field site.

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DES ESSAIS DE CROISSANCE AU CHAMP D'AULNES (*ALNUS* SPP.) INOCULÉS OU NON DE *FRANKIA*

INTRODUCTION

La plupart des sols forestiers souffrent d'une carence en azote sous une forme assimilable pouvant maximiser la croissance de l'arbre (Gordon et Dawson, 1979). L'épandage d'engrais chimiques est un moyen d'accroître la productivité, mais ceux-ci consomment beaucoup d'énergie, sont relativement rares et sont très coûteux à fabriquer et à utiliser (Burgess, 1984).

La fixation de l'azote est un processus biologique qui peut être intégré aux stratégies d'aménagement, à la fois pour améliorer la fertilité du sol et pour réduire la demande d'engrais chimiques. Ce processus est largement utilisé en agriculture, notamment chez les légumineuses qui sont inoculées de *Rhizobium*. Certains craignent que le photosynthétat fourni par la plante hôte pour entretenir les activités de fixation de N_2 et d'assimilation de NH_4^+ puisse entraîner des diminutions importantes de rendement (Schubert, 1982). En foresterie, le degré d'aménagement est généralement moins intensif, et il est probable que la fixation biologique d'azote puisse être plus facilement intégrée aux régimes d'aménagement (Chatarpaul et Carlisle, 1983).

L'utilisation en foresterie d'angiospermes portant sur leurs racines des nodosités à actinomycètes fixateurs d'azote comme *Alnus* spp., *Myrica* spp., *Elaeagnus* spp. et *Casuarina* spp. semble particulièrement prometteuse (Tarrant et Trappe, 1971; Torrey, 1978; et Zavitkovski *et al.*, 1979). Les aulnes (*Alnus* spp.) sont les membres les plus importants de ce groupe dans les régions tempérées du nord et du sud (Silvester, 1977). Ils sont largement distribués partout dans la zone tempérée septentrionale et occupent une vaste gamme de stations. Les aulnes sont une essence à croissance relativement rapide et sont capables de rejeter à partir des souches laissées sur place après la coupe, ce qui élimine la nécessité (et le coût) d'un reboisement ultérieur.

Les aulnes peuvent être une source de fibre, améliorant le sol et accélérant la croissance des arbres aux alentours (Tarrant et Trappe, 1971). Des rendements beaucoup plus élevés ont été obtenus grâce à la plantation intercalaire d'aulnes et de noyers noirs (*Juglans nigra* [Clark et Williams, 1979]), de Douglas taxifoliés (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco [Miller et Murray, 1978]) et d'hybrides de peupliers (*Populus* spp. [DeBell et Radwan, 1979; Hansen et Dawson, 1982; et Cote et Camire, 1984]), même si les avantages de cette technique ne se font pas toujours sentir (Plass, 1977; et Heilman et Stettler, 1983). L'obtention de tels résultats revêtira une importance accrue à mesure que l'aménagement forestier s'intensifiera.

L'aménagement forestier devrait s'intensifier davantage parallèlement à la diminution des réserves de bois et à l'augmentation de la demande. Pendant ce temps, les impératifs de la conservation, des loisirs et de la recherche scientifique ne cessent de faire diminuer la superficie des terres forestières (Carlisle et Chatarpaul, 1984). Les aménagistes doivent réussir à

les rendre plus productives, d'où la nécessité d'exercer de plus fortes pressions sur les sols forestiers. L'intensification de l'aménagement forestier entraînera un recours accru à des révolutions plus courtes, à la récolte de la biomasse et à une culture plus intensive, notamment l'utilisation d'espèces ayant la capacité de fixer l'azote, comme l'aulne.

Il nous faut mieux comprendre les aulnes avant de pouvoir optimaliser leur aménagement (Hall et al., 1979). La verne Alnus glutinosa (L.) Gaertn. a fait l'objet d'études très approfondies et est maintenant largement utilisée pour la remise en état des terrains (Gordon et Hall, 1978). Certains ont également accordé une certaine attention à d'autres espèces d'aulnes comme l'aulne blanc Alnus incana spp. incana (L.) Moench, l'aulne à feuilles cordées Alnus cordata Desf. et l'aulne rouge Alnus rubra Bong. (Miller, 1982).

Alnus est un genre diversifié et répandu. Certaines espèces comme les deux seules espèces d'aulnes indigènes de l'est du Canada (Alnus viridis spp. crispa [Ait.] Turrill et Alnus incana spp. rugosa [Du Roi] Clausen) (Daly, 1966) sont arbustives. En Amérique du Nord, des essais de croissance d'individus arborescents d'Alnus glutinosa ont été effectués à partir de lots de semences récoltés dans un petit secteur de son aire de distribution, mais aucun autre aulne exotique n'a été étudié.

Le présent article décrit les essais de croissance d'aulnes indigènes et exotiques destinés notamment à évaluer le potentiel d'utilisation des aulnes exotiques arborescents dans le centre du Canada. Il analyse également les données préliminaires d'une expérience sur le terrain destinée à examiner les effets de l'inoculation de Frankia sur le taux de croissance et de survie de l'aulne.

MATÉRIEL FORESTIER DE REPRODUCTION ET MÉTHODES D'ESSAI

Description de la station

La station était située à une élévation de 180 m dans la forêt expérimentale de l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP) à Chalk River, en Ontario, Canada (46°00'N, 77°26'W). Le climat y est continental, avec des températures moyennes en janvier et en juillet de -13°C et de 20°C respectivement, et des précipitations annuelles moyennes de 78 mm. Le sol est un loam sableaux bien drainé, qui s'est développé à partir d'un till glaciaire modérément acide (pH de 5,8, eau distillée) et parsemé de nombreuses grosses pierres. Le drainage est bon, mais la fertilité faible (matière organique 4,8 %, N total 0,15 %). Avant d'être préparée, la station était recouverte d'herbe et n'avait reçu aucun engrais ou herbicide les dix dernières années. Le secteur d'étude a été travaillé à la charrue et au scarificateur à disque l'année précédant la plantation. Le sol a été épierré et retourné au cultivateur rotatif avant le repiquage, pour être ensuite désherbé et irrigué l'année suivant la transplantation.

Matériel forestier de reproduction

Les semences d'aulnes provenaient du Centre national de semences forestières de l'IFNP. Des récipients Spencer-Lemaire de type Hilson ont été utilisés

pour semer de quatre à huit graines de chaque espèce par cavité (tableau 1), la quantité ayant été déterminée en fonction d'essais antérieurs de germination. Le substrat de plantation se composait d'un mélange de 3/1 de tourbe/vermiculite, complété par de la chaux à la dolomie, du gypse, du superphosphate triple et des oligoéléments (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). Chaque semis des traitements non inoculés a reçu 225 mg de N sous forme d'un engrais à libération progressive (Osmocote). Une petite quantité d'engrais de démarrage azoté (10 mg/semis) a été appliqué en solution aux semis dont l'inoculation était prévue. Des semis de trois à quatre semaines ont été inoculés. Chacun d'eux a reçu 3 mL d'inoculum dilué (100 mL d'inoculum concentré dilué dans 3 L d'eau). La souche Frankia ACN1^{AG} (numéro de catalogue ULQ0102001007, fournie par M. Lalonde, Université Laval, Québec) a été la seule souche utilisée lors de l'expérience. Les semis ont été cultivés en serre dans des conditions d'éclairement continue (24 h). Ils étaient arrosés pendant cinq

Tableau 1. Sources des semences des espèces d'Alnus utilisées lors des essais de plantation

Espèce	Origine	Latitude	Longitude	Élévation
A. cremastogyne Burk.	Chine	-	-	-
A. viridis ssp. crispa (Ait.) Turrill.	Chapleau, Ontario	47°38'N	83°15'W	460 m
A. glutinosa (L.) Gaertn.	Penzenskoi Oblast, URSS	approx. 53°N	approx. 43°E	
A. incana ssp. incana (L.) Moench	Lac Doré, Ontario*	45°37'N	77°07'W	175 m
A. japonica (Thunb.) Steud.	Japon via l'Écosse	-	-	-
A. rubra Bong.	Plateau Forbidden, Colombie-Britannique	49°35'N	125°16'W	1200 m
A. incana ssp. rugosa (Du Roi) Clausen.	Chalk River, Ontario	45°58'N	77°25'W	160 m
A. viridis ssp. sinuata (Reg.) Löve & Löve	Col McKendrick, Colombie-Britannique	54°40'N	126°45'W	1190 m
A. incana ssp. tenuifolia Nutt.	Cranbrook, Colombie-Britannique	49°30'N	117°48'W	712 m

* Le nord de la Suède est l'origine première des semences

minutes toutes les quatre heures, de 8 h du matin à 20 h le soir, et pendant cinq minutes à 2 h du matin. Après la germination, les semis ont été éclaircis pour ne garder qu'un seul semis par récipient. Six semaines après l'ensemencement, nous avons ajouté chaque semaine une solution non azotée d'éléments nutritifs qui contenait les éléments suivants: KCl (0,375 g/L), $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (0,25 g/L), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,25 g/L), $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (0,125 g/L) et $Ca_3(PO_4)_2$ (0,125 g/L) à raison de 3 mL pour chaque semis inoculé.

Les semis sont restés en serre jusqu'à la fin mai, période à laquelle ils ont été placés à l'extérieur dans un abri en lattis et irrigués pendant deux semaines pour les <<endurcir>>. Au début de juin, les semis ont été repiqués dans des lits de germination de pépinière où ils sont restés jusqu'à l'échantillonnage ou jusqu'à leur transplantation au printemps suivant.

Plan et analyse des essais

Le premier essai au champ a été effectué avec huit espèces d'aulnes: quatre espèces exotiques (A. cremastogyne Bush., A. glutinosa [L.] Gaertn., A. incana ssp. incana [L.] Moench et A. japonica [Thunb.]); deux espèces indigènes de l'est de l'Amérique du Nord (A. viridis ssp. crispa [Ait.] Turrill., et A. incana ssp. rugosa [Du Roi] Clausen); et deux espèces occupant l'ouest de l'Amérique du Nord (A. rubra Bong. et A. viridis ssp. sinuata [Reg]). Ces aulnes non inoculées de la pépinière ont été repiqués en mai 1982 en groupes de 25 semis par parcelle. L'emplacement des parcelles était totalement aléatoire. Les semis étaient espacés de 1,0 x 1,0 m et entourés de rangées de protection.

Au printemps 1983, un deuxième essai au champ portant sur du matériel inoculé et non inoculé a été effectué à la même station. A. japonica ne faisait pas partie de cette étude car nous ne disposions pas d'un nombre suffisant de semences. En mai 1983, les aulnes ont été retirés de leurs lits de germination, et la masse anhydre (80°C) des pousses, des racines et des nodules a été mesurée dans des sous-échantillons aléatoires de sept espèces d'aulnus: A. viridis ssp. crispa, A. glutinosa, A. incana ssp. incana, A. rubra, A. incana ssp. rugosa, A. viridis ssp. sinuata et A. incana ssp. tenuifolia. Trois espèces (A. viridis ssp. crispa, A. glutinosa et A. incana ssp. incana) ont été repiquées sur le terrain. Les parcelles comprenaient également 25 plants espacés de 1,0 x 1,0 m. Six parcelles de plants inoculés et six autres de plants non inoculés de chaque espèce ont été implantées suivant un plan modifié en blocs aléatoires. Les blocs ont été divisés également, les deux traitements (rangées) inoculés étant séparés par des zones tampons se composant de trois rangées d'arbres non inoculés.

Nous avons évalué le taux de survie et la croissance en hauteur chaque année après le repiquage. Le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) a été mesuré, dans la mesure du possible, après la deuxième année. Les données ont été soumises à une analyse de la variance à un facteur, les espèces et les traitements d'inoculation (le cas échéant) servant d'effets principaux. Des comparaisons entre les espèces et les traitements ont été établies à l'aide du test d'étendue multiple de Duncan. Les comparaisons entre les plantes inoculées et non inoculées au sein d'une même espèce ont été effectuées à l'aide de tests-t.

RÉSULTATS

Sept des huit espèces d'aulnes ayant fait à l'origine l'objet des essais de la première expérience sur le terrain ont survécu aux quatre premières saisons de croissance. Alnus cremastogyne a été tué par le gel pendant le premier hiver suivant sa transplantation. Le taux de survie des autres espèces d'Alnus après quatre saisons de croissance est le suivant: incana ssp. incana, glutinosa et incana ssp. rugosa, 100 %; japonica, 98,7 %; viridis ssp. crispa, 92 %; viridis ssp. sinuata, 89.3 %; et rubra, 80 %. Le taux de survie après la première année suivant la transplantation a peu changé, sauf chez A. rubra qui a continué de décliner en nombre à cause du gel (de 100 à 80 %). Même si les parties aériennes de cette espèce étaient tués à chaque hiver, de nombreux systèmes radiculaires survivaient et rejettaient de nouvelles pousses pendant la saison de croissance suivante.

Les espèces présentaient des différences importantes de hauteur et de diamètre (tableau 2). La hauteur moyenne mesurée variait d'un minimum de 0,97 m chez A. viridis ssp. sinuata à un maximum de 4,7 m chez A. japonica. Les diamètres des quatre meilleures espèces ont été mesurés. A hauteur de poitrine, ils variaient de 1,67 cm chez A. incana ssp. rugosa à 3,3 cm chez A. incana ssp. incana et A. japonica (figure 1). Alnus glutinosa avait eu un accroissement en hauteur beaucoup plus important en 1984 que les deux espèces précédentes, et l'accroissement de son diamètre dépassait celui de A. japonica. Par conséquent, les trois espèces exotiques d'aulnes (A. glutinosa, A. incana ssp. incana et A. japonica), compte tenu des conditions favorables de croissance créées, c'est-à-dire désherbage et irrigation, se sont bien développées et ont surpassé les espèces indigènes d'aulnes.

Lors de la deuxième expérience, la biomasse des pousses, des racines et des nodules des semis inoculés et non inoculés a été pesée après la première saison de végétation passée sur les planches (tableau 3). Des nodules racinaires se sont formés chez les semis inoculés dans la serre, contrairement aux semis non inoculés où ils ne sont apparus qu'après repiquage sur les planches de semis de la pépinière. Après la première saison en pépinière, des nodules racinaires étaient bien formés chez tous les semis (tableau 3). Des interactions significatives entre l'espèce et l'inoculation ont été établies pour toutes les variables examinées. Le traitement qui comportait une inoculation avait des effets positifs significatifs sur l'ensemble de la biomasse d'A. rubra, A. incana spp. rugosa et A. viridis ssp. sinuata. Il a eu des effets négatifs importants chez A. glutinosa et aucun effet sur l'autre espèce. L'inoculation a entraîné des coefficients du système racinaire/foliacé plus faibles chez A. glutinosa, A. incana ssp. incana et A. incana ssp. tenuifolia. Le traitement comportant l'inoculation n'a produit aucun effet apparent chez les autres espèces d'aulnes, mais ces résultats peuvent ne pas être significatifs en raison du faible nombre de semis échantillonnés (tableau 3).

Trois espèces de la pépinière, A. viridis ssp. crispa, A. glutinosa et A. incana ssp. incana, ont été transplantées dans les parcelles expérimentales. Leur hauteur a été mesurée au moment de leur mise en terre et à la fin des première et deuxième saisons de croissance (tableau 4). Les résultats corroborent ceux de la première expérience, A. incana ssp. incana dépassant les deux autres espèces. Au moment de leur transplantation, les plants inoculés étaient plus petits que les autres, probablement parce que ces

Tableau 2. Croissance en hauteur et accroissement du diamètre à hauteur de poitrine (dhp) d'Alnus à la station d'étude sur le terrain

Espèce	Hauteur (m)			Diamètre (cm)	
	Croissance de la troisième année	Croissance de la quatrième année	Total des quatre années	Accroissement de la quatrième année	Total des quatre années
A. viridis ssp. crispa	0,66 (0,20)e	0,44 (0,25)d	1,80 (0,33)d		
A. glutinosa	1,53 (0,27)c	1,97 (0,39)a	4,48 (0,59)b	1,59 (0,41)a	3,03 (0,66)b
A. incana ssp. incana	1,68 (0,31)b	1,58 (0,52)b	4,63 (0,69)ab	1,46 (0,54)ab	3,34 (0,83)a
A. japonica	1,79 (0,54)a	1,47 (0,27)b	4,73 (0,81)a	1,35 (0,46)b	3,32 (0,92)a
A. rubra	0,16 (0,25)f	0,03 (0,30)f	1,09 (0,30)e		
A. incana ssp. rugosa	1,02 (0,31)d	1,26 (0,23)c	3,33 (0,52)c	0,82 (0,22)c	1,67 (0,43)c
A. viridis ssp. sinuata	0,21 (0,15)f	0,37 (0,17)d	0,97 (0,27)e		

REMARQUE: Les valeurs sont des moyennes, les écarts-types étant indiqués entre parenthèses. Les moyennes suivies par une même lettre dans les différentes colonnes ne présentent pas de différence significative à un niveau de 5 %.

Figure 1. Parcelle expérimentale d'Alnus japonica de cinq ans (photo prise en août 1985 - les arbres avaient été élagués pour mettre en évidence la forme de la tige). x 1/40

Tableau 3. Effets de l'inoculation sur le taux de croissance d'Alnus en pépinière

Espèce	Poids du plant (g)								Coefficient du système racinaire/ foliacé (g/g)	
	Pousse		Racine		Nodule		Total			
	Traitement par inoculation (+ = ACN1^{AG}, - = Aucun)									
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
A. viridis ssp. crispa	7,6a	4,2a	5,2a	3,3a	0,20a	0,19a	13,0a	7,7a	1,4a	1,2a
A. glutinosa	1,6b	3,8a	3,0a	3,9a	0,07a	0,14a	4,7b	7,8a	0,5b	0,9a
A. incana ssp. incana	2,4a	3,3a	4,8a	4,0a	0,15a	0,21a	7,4a	7,5a	0,5b	0,9a
A. rubra	12,7a	4,2b	9,1a	3,8a	0,55a	0,19b	22,4a	8,3b	1,4a	1,3a
A. incana ssp. rugosa	9,0a	3,2b	7,3a	2,7b	0,37a	0,10b	16,7a	6,0b	1,2a	1,2a
A. viridis ssp. sinuata	5,3a	2,1b	4,6a	1,4b	0,64a	0,12b	10,5a	3,6b	1,1a	1,4a
A. incana ssp. tenuifolia	8,5a	4,7a	6,0a	2,2a	0,56a	0,11b	15,1a	7,0a	1,4b	2,1a
Moyenne	6,5a	3,8b	5,7a	3,4b	0,36a	0,17b	12,5a	7,3b	1,0b	1,2a

Nombre de répétitions par traitement par inoculation (ACN1^{AG}, aucun): crispa (6, 5), glutinosa (6, 6), incana (6, 6), rubra (6, 3), rugosa (6, 3), sinuata (6, 3) et tenuifolia (6, 4). Les paires de valeurs suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative à un niveau de 5 %.

derniers avaient reçu une plus grande quantité d'engrais azoté lors de l'ensemencement. La croissance annuelle en hauteur a toutefois été beaucoup plus forte chez les plants inoculés des trois espèces pendant les deux premières saisons de croissance sur le terrain. Par conséquent, le plant de trois ans inoculé présentait une croissance en hauteur très supérieure à celle du matériel non inoculé (+28, +7 et +5 % chez A. viridis ssp. crispa, A. glutinosa et A. incana ssp. incana, respectivement). La croissance en hauteur de la troisième année et la croissance triennale totale des plants inoculés présentaient également une moins grande variabilité. Le taux de survie était de 96 % ou plus chez toutes les espèces ayant subi une inoculation quelconque.

DISCUSSION

Taux de croissance des essences d'aulnes indigènes et exotiques

Les espèces exotiques d'aulnes ont dépassé les espèces indigènes A. viridis ssp. crispa et A. incana ssp. rugosa lors des essais. D'autres études devront

Tableau 4. Effets de l'inoculation de la souche Frankia ACN1^{AG} sur le taux de croissance au champ de trois espèces d'Alnus

Période	Espèce					
	A. viridis ssp. crispa		A. glutinosa		A. incana ssp. incana	
	ACN1	Aucun	ACN1	Aucun	ACN1	Aucun
	---------- Croissance annuelle en hauteur (m) ---------					
Première année*	0,42b	0,46a	0,21b	0,36a	0,39b	0,57a
Deuxième année	0,56a	0,43b	0,79a	0,66b	1,18a	0,96b
Troisième année	0,94a	0,60b	1,58a	1,38b	1,67a	1,56b
Total triennal	1,91a	1,49b	2,58a	2,41b	3,24a	3,10b
	----- Écart-type de la croissance en hauteur (m) ------					
Première année*	0,15a**	0,16a	0,07b	0,10a	0,16b	0,19a
Deuxième année	0,23a	0,20b	0,20a	0,20a	0,29a	0,30a
Troisième année	0,20b	0,29a	0,35b	0,44a	0,35b	0,48a
Total triennal	0,30b	0,37a	0,47b	0,55a	0,53b	0,75a

Les valeurs des différentes espèces pour une période donnée suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative à un niveau de 5 %.

* Première année: Croissance en hauteur en serre et en pépinière (mesures prises en mai 1982).

** Résultats du test-F pour apprécier l'homogénéité des variances.

être effectuées pour évaluer le potentiel d'utilisation de ces espèces exotiques dans les conditions régnant au Canada. Néanmoins, les résultats présentés ici sont encourageants.

Certains ont suggéré d'envisager la possibilité d'introduire d'autres espèces ou hybrides d'Alnus aux programmes d'amélioration génétique des arbres et de sylviculture. Les espèces exotiques qui atteignent une taille marchande ainsi que celles qui assurent la fixation de l'azote pourraient s'avérer particulièrement précieuses.

Alnus japonica est l'une des 16 espèces ou variétés indigènes du Japon (Uemura, 1971). A maturité, il atteint une taille allant jusqu'à 25 m au Japon (Rehder, 1940) et provient probablement de cette région, tout comme le genre Alnus (Furlow, 1979). Cette espèce se compose de deux variétés, soit A. japonica var. japonica et A. japonica var. arguta (Murai, 1963). Cette dernière a une répartition plus nordique. A l'hiver 1983-1984, le gel a légèrement endommagé A. japonica dont la cime a également dépéri pendant l'hiver suivant. Les individus plus gros d'A. japonica semblent en outre être vulnérables aux dommages causés par le Pic maculé Sphyrapicus varius (L.)

Alnus incana ssp. incana est particulièrement recherché en foresterie européenne comme culture abri en raison de son aptitude à coloniser une vaste gamme de stations (Baule et Fricker, 1970). Cette essence se retrouve presque partout en Europe où elle atteint des hauteurs de 20 mètres. Les besoins d'A. incana ssp. incana en éléments nutritifs sont faibles, ce qui pourrait en faire une espèce toute indiquée pour les sols forestiers à faible fertilité du Canada. Cette espèce est capable de tolérer des stations beaucoup plus sèches qu'A. glutinosa, mais sa croissance est optimalisée dans les stations humides.

Alnus glutinosa est une essence indigène de la majeure partie de l'Europe, de l'est de la Russie et de l'Afrique du Nord où elle atteint une hauteur de 24 mètres (McVean, 1953). Cette essence préfère les rives des cours d'eau et rivières ou d'autres stations où l'eau n'est pas un facteur limitant. Même si, lors de l'expérience dont nous faisons état, sa croissance initiale a été plus lente, A. glutinosa semble maintenant dépasser A. incana ssp. incana et A. japonica. Ce changement peut être un reflet de la compétition accrue entre les semis plus gros limités à un espacement de 1,0 x 1,0 m.

L'absence de compétition et de stress hydrique a contribué au taux de croissance relativement élevé signalé ici. Il faudra prendre en compte ces facteurs limitants avant de pouvoir vraiment établir le rendement des différentes espèces. Néanmoins, nous estimons que l'excellent taux de croissance des essences exotiques d'aulnes justifie la poursuite des recherches.

Effets de l'inoculation de Frankia

Les résultats révèlent que l'application de traitements modifiés destinés à produire en serre des semis à nodules racinaires bien développés peut avoir des effets importants sur leur croissance ultérieure. Des études antérieures (Barry et Torrey, 1985; Périnet et al., 1985; et Stowers et Smith, 1985) ont démontré que de nombreux facteurs, comme la quantité et la qualité de l'inoculum, et l'équilibre nutritif, le type et le pH du substrat de croissance jouent un rôle important dans la formation de nodules racinaires bien développés et dans la croissance des individus d'Alnus cultivés en récipient, en serre. Le mode de traitement utilisé lors de la présente étude a eu des effets à la fois positifs et négatifs, selon l'espèce d'aulne. De plus, les effets se modifient avec le temps. Une diminution de la croissance en hauteur en pépinière était compensée après le repiquage dans les parcelles expérimentales.

Lors de la présente étude, l'inoculation de la souche Frankia ACN1^{AG} a eu les effets les plus marqués sur la croissance d'Alnus viridis ssp. crispa, hôte d'origine de cette souche. L'association naturelle Frankia-Alnus ne donne pas toujours les meilleurs résultats. Teissier-du-Cros et al. (1984) ont obtenu des résultats inconstants après avoir inoculé des planches de semis d'une souche Frankia qu'ils avaient isolée dans des nodules d'A. rubra. Lors de l'une de leurs expériences, ils ont découvert que l'inoculation diminuait la croissance en hauteur chez deux des trois provenances d'A. rubra, la plante hôte d'origine de la souche Frankia qu'ils avaient utilisée. Lors de leur étude tout comme la nôtre, des nodules sont apparus sur les racines de tous les semis en pépinière, qu'ils aient été inoculés ou non. Hall, McNabb, Maynard et Green (1979) ont découvert qu'une préparation broyée de nodules prélevés chez A. rubra a donné de moins bons résultats chez la

plante hôte qu'une préparation faite à partir de nodules d'A. glutinosa. L'association de Frankia à A. viridis ssp. crispa (Normand et Lalonde, 1982) et à A. glutinosa (Hall et al., 1979) donnait des variations naturelles considérables. Ces deux dernières études révèlent que les souches Frankia à sporulation abondante donnent des résultats suboptimaux lorsqu'elles sont appliquées à leurs plantes hôtes. D'autres études (p. ex., Carpenter et al., 1984; et Dawson et Sun, 1981) ont démontré que différents isolats de Frankia avaient des effets significatifs sur la croissance de plantes non-hôtes.

Les résultats permettent également de supposer que les études à court terme sur le terrain peuvent être trompeuses et que les essais devraient s'échelonner sur une période de plusieurs années. Lors de la présente expérience, nous avons relevé un effet négatif de l'inoculation et de l'application de matières inorganiques faiblement azotées sur la croissance en hauteur des trois espèces après la première année en pépinière. Ce retard a été compensé au champ par une poussée de croissance pendant les deux années suivantes. Ce phénomène peut toutefois être expliqué par le coefficient plus faible ou plus avantageux du système racinaire/foliacé qui caractérisait les semis inoculés. La variabilité réduite des plantes inoculées permet de supposer que l'inoculation peut produire des caractéristiques de croissance plus uniformes et, par contre, que l'efficacité des souches Frankia naturelles peut varier.

Nous savons très peu de choses sur l'efficacité des souches Frankia présentes dans les sols canadiens, notamment sur leur association avec des espèces hôtes introduites. Normand et Lalonde (1982) ont réussi à isoler plus de 200 souches Frankia chez des individus d'A. viridis ssp. crispa et A. incana ssp. rugosa provenant du Québec. Néanmoins, aucune comparaison n'a été établie entre les souches Frankia indigènes et celles, par exemple, de la région d'Asie dont proviendraient Alnus et, probablement, Frankia. Il nous faudra déployer des efforts de recherche considérables avant d'être en mesure d'identifier et d'utiliser de façon optimale les combinaisons hôtes-endophytes.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier I.R. Miller qui nous a aidé à aménager et à soigner les parcelles d'essai, et R.L. Peterson et R.F. Ackerman qui ont révisé le manuscrit.

RÉFÉRENCES

Baule, H.; Fricker, C. 1970. The fertilizer treatment of forest trees. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, Germany.

Berry, A.M.; Torrey, J.G. 1985. Seed germination, seedling inoculation and establishment of Alnus spp. in containers in greenhouse trials. Plant Soil 87: 161-173.

Burgess, D. 1984. Role of chemical fertilizers in intensive forestry. IEA/FE-ENFOR CFS Rep. 1984: 3.

Carlisle, A.; Chatarpaul, L. 1984. Foresterie intensive: quelques préoccupations socio-économiques. Serv. can. forêts, Inst. for. natl de Petawawa. Rapport d'information PI-X-43F.

Carpenter, C.V.; Robinson, L.R.; Gordon, J.C.; Perry, D.A. 1984. The effect of four new Frankia isolates on growth and nitrogenase activity in clones of Alnus rubra and Alnus viridis ssp. sinuata. Can. J. Forest Res. 14: 701-706.

Chatarpaul, L.; Carlisle, A. 1983. Nitrogen fixation: A biotechnological opportunity for Canadian forestry. For. Chron. 59: 249-259.

Clark, P.M.; Williams, R.D. 1979. Black walnut growth increased when interplanted with nitrogen fixing shrubs and trees. Proc. Indiana Acad. Sci. 88: 88-91.

Cote, B.; Camire, C. 1984. Growth nitrogen accumulation, and symbiotic dinitrogen fixation in pure and mixed plantings of hybrid poplar and black alder. Plant Soil 78: 209-220.

Daly, G.T. 1966. Nitrogen fixation by nodulated Alnus incana ssp. rugosa. Can. J. Bot. 44: 1607-1621.

Dawson, J.O.; Sun, S.H. 1981. The effect of Frankia isolates from Comptonia peregrina and Alnus viridis ssp. crispa on the growth of Alnus glutinosa, A. cordata and A. incana ssp. incana clones. Can. J. Forest Res. 11: 758-762.

DeBell, D.S.; Radwan, M.A. 1979. Growth and nitrogen relations of coppiced black cottonwood and red alder in pure and mixed plantings. Bot. Gaz. 140 (Suppl.): S97-S101.

Furlow, J.J. 1979. The systematics of the American species of Alnus (Betulaceae). Rhodora 81: 1-248.

Gordon, J.C.; Dawson, J.O. 1979. Potential uses of nitrogen-fixing trees and shrubs in commercial forestry. Bot. Gaz. 140 (Suppl.): S88-S90.

Gordon, J.C.; Hall, R.B. 1978. Alder research outside the northwest: A brief overview. Pages 47-53 in Briggs, D.G. ed. Proc. Utilization and Management of Alder. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PNW-700 Portland.

Hall, R.B.; McNabb, H.S. Jr.; Maynard, C.A.; Green, T.L. 1979. Toward development of optimal Alnus glutinosa symbioses. Bot. Gaz. 140 (Suppl.). S120-S126.

Hansen, E.A.; Dawson, J.O. 1982. Effect of Alnus glutinosa on hybrid populus height growth in a short-rotation intensively cultured plantation. Forest Sci. 28: 49-59.

Heilman, P.; Stettler, R.F. 1983. Phytomass production in young mixed plantations of Alnus rubra and cottonwood in western Washington, U.S.A. 2nd

International Symposium on Nitrogen Fixation with Nonlegumes, Banff, Alta. Can. J. Microbiol. 29: 1007-1013.

McVean, D.N. 1953. Biological flora of the British Isles: Alnus glutinosa (L.) Gaertn. J. Ecol. 41: 447-466.

Miller, H.G. 1982. Nutrient cycling in alder. IEA Report NE 1983: 2 National Swedish Board for Energy Source Development, Stockholm.

Miller, R.E.; Murray, M.D. 1978. The effects of red alder on growth of douglas-fir. Pages 283-306 in Briggs, D.G. ed. Proc. Utilization and Management of Alder. USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-70.

Murai, S. 1963. Phytotaxonomical and geobotanical studies on so-called genus Alnus in Japan. (II) Comparative studies on all species, including shrubby species. Bull. No. 154. Gov. For. Res. Exp. Stn., Tokyo.

Normand, P.; Lalonde, M. 1982. Evaluation of Frankia strains isolated from provenances of two Alnus species. Can. J. Microbiol. 28: 1133-1142.

Périnet, P.; Brouillette, J.G.; Fortin, J.A.; Lalonde, M. 1985. Large scale inoculation of actinorhizal plants with Frankia. Plant Soil 87: 175-183.

Plass, W.T. 1977. Growth and survival of hardwoods and pine interplanted with European alder. USDA Forest Serv. Res. Pap. NE-376.

Rehder, A. 1940. Manual of cultivated trees and shrubs. 2nd Edition. MacMillan Co., N.Y.

Schubert, K.R. 1982. The energetics of biological nitrogen fixation. Amer. Soc. Plant Physiologists, Rockville, Md.

Silvester, W.B. 1977. Ecological and economic significance of the non-legume symbioses. Pages 489-506 in Newton, W.E.; Nyman, C.J. eds. Proc. 1st Int. Symp. on Nitrogen Fixation. Vol. 2. Wash. State Univ. Press, Seattle.

Stowers, M.D.; Smith, J.E. 1985. Inoculation and production of container-grown red alder seedlings. Plant Soil 87: 153-160.

Tarrant, R.F.; Trappe, J.M. 1971. The role of Alnus in improving the forest environment. Plant Soil Special Vol.: 335-348.

Teissier-du-Cros, E.; Jung, G.; Bariteau, M. 1984. Alder and Frankia interaction and alder and poplar association for biomass production. Plant Soil 78: 235-244.

Torrey, J.G. 1978. Nitrogen fixation by actinomycete-nodulated angiosperms. BioScience 28: 586-592.

Uemura, S. 1971. Non-leguminous root nodules in Japan. Plant Soil Special Vol.: 349-360.

Zavitkovski, J.; Hansen, E.A.; McNeel, H.A. 1979. Nitrogen-fixing species in short rotation systems for fibre and energy production. Pages 388-402 in Gordon, J.C. et al. Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forests. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis.